

論文の要旨

題目 二相ステンレスクラッド鋼板・ソリッド鋼板を用いたケミカルタンカー建造に関する基礎研究

(Fundamental Study on the Construction of Chemical Tanker Utilizing Combination of Duplex Stainless Clad Steel Plate and Solid Steel Plate)

氏名 緒方 洋典

国内で建造されているケミカルタンカーのカーゴタンクには、従来、オーステナイト系ステンレス SUS316Lクラッド鋼板や SUS316LNソリッド鋼板が使用されてきた。

近年、ヨーロッパでは、Ni含有量が少なく、高強度であるフェライト/オーステナイト二相系ステンレス [UNS S32205 (SUS329J3L)] ソリッド鋼板の使用が増加してきた。

SUS329J3L鋼板を使用すれば、Ni含有量は、SUS316LN鋼板の1/2程度であり、0.2%耐力は、SUS316LN鋼板の約1.5倍である。

したがって、SUS329J3L鋼板を採用すれば、希少資源節約効果と鋼板価格低減に加えて、船体重量軽減による原価低減を図ることができ、競争力向上が期待できる。

2016年に製造できるようになったSUS329J3Lクラッド鋼板と、ソリッド鋼板とを組み合わせるケミカルタンカーに採用できれば、カーゴタンク内の船殻材を全てSUS329J3L鋼板で構成することができ、耐食性がよく、合理的な船体建造が実現する。

本研究は、SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板を使用した、ケミカルタンカー建造の基礎技術確立を目的とした。本研究の主要な実施事項と成果を以下に示す。

第1章では、本研究の背景と目的、ケミカルタンカーの紹介、ならびに本研究の取り組みについて述べている。

第2章では、SUS329J3Lクラッド鋼板を、ケミカルタンカーに実用する

上での最重要課題である，接合界面の破壊靱性，および接合界面に沿っての疲労亀裂伝播特性を把握・検討・評価した。すなわち，ケミカルタンカーカーゴタンク構造に適用した場合，十分な強度・信頼性を有していることを明らかにした。得られた知見を以下に示す。

SUS329J3Lクラッド鋼板接合界面の破壊靱性は，SUS329J3L鋼板突合せ溶接継手溶接金属中央部の破壊靱性と略同じであり，さらに，接合界面に沿っての疲労亀裂伝播特性は，高張力鋼板（SM570，WEL-TEN780E）母材や，SUS329J3L鋼板母材と同等であることから，ケミカルタンカーカーゴタンク構造に適用して何等問題無いことが明らかになった。

第3章では，SUS329J3Lクラッド鋼板同士およびSUS329J3Lソリッド鋼板とSUS316Lクラッド鋼板，さらに，SUS329J3Lソリッド鋼板同士の溶接性に関して，特に現場施工上問題になる事項について，調査・確認し，ケミカルタンカーの建造が十分可能であることを明らかにした。得られた知見を以下に示す。

① SUS329J3Lソリッド鋼板とSUS316Lクラッド鋼板との完全溶け込みT継手では，開先角度 $30\sim 50^{\circ}$ の範囲では，初層溶接金属における高温割れ発生などは無く，良好な溶接性を示した。

② SUS329J3Lソリッド鋼板同士の突合せ溶接継手では，入熱量 $14\cdot 40\text{ kJ/cm}$ のFCAWも， $35\cdot 50\text{ kJ/cm}$ のFCAW+SAWも，継手引張強さ，継手V-ノッチシャルピー衝撃試験結果，硬さ分布測定結果，溶接金属の化学成分分析結果，フェライト量測定結果 全てにおいて，問題無いことが確認された。

さらに，SUS329J3Lクラッド鋼板同士の突合せ溶接継手では，入熱量 $20\cdot 44\text{ kJ/cm}$ のFCAWも， $30\cdot 50\text{ kJ/cm}$ のFCAW+SAWも，継手引張強さは全く問題無かったが， 44 kJ/cm のFCAWで，合せ材（SUS329J3L鋼板）と母材（軟鋼板）との接合界面の溶接金属部分に欠陥が確認された。過剰入熱での溶接は避けるべきである。

③ SUS329J3Lソリッド鋼板とSUS316Lクラッド鋼板，およびSUS329J3Lソリッド鋼板同士の完全溶け込み十字溶接継手（開先角度 $40\cdot 50\cdot 60^{\circ}$ ）の引張試験結果では，全ての試験片で母材破断し，引張強さも全て 750 N/mm^2 以上で，優れた強度特性を有することが確認された。

以上により、SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板を適用したケミカルタンカー建造は、実績の多いSUS316Lクラッド鋼板や、SUS316LNソリッド鋼板を使用した場合と、略同等な現場施工が可能であることが確認された。

第4章では、SUS329J3Lクラッド鋼板同士、SUS329J3Lソリッド鋼板同士の突合せ溶接継手や、SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板との荷重伝達型・荷重非伝達型完全溶け込み十字溶接継手、さらに、SUS329J3Lソリッド鋼板同士の荷重非伝達型十字隅肉溶接継手の疲労強度を把握し、ケミカルタンカー建造の実用に供することが十分可能であることを明らかにした。得られた知見を以下に示す。

- ① SUS329J3Lクラッド鋼板同士、およびSUS329J3Lソリッド鋼板同士の突合せ溶接継手の疲労強度は、SUS316Lクラッド鋼板同士の約1.2倍、およびSUS316LNソリッド鋼板同士の約1.1倍強いことが明らかになった。
- ② SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板との荷重伝達型および荷重非伝達型完全溶け込み十字溶接継手の疲労強度は、SUS316Lクラッド鋼板とSUS329J3Lソリッド鋼板との同種溶接継手の疲労強度の約1.2倍および約1.1倍強いことが明らかになった。

以上を総括して、SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板との組み合わせで建造されるケミカルタンカーカーゴタンク構造の疲労強度は、SUS316Lクラッド鋼板とSUS316LNソリッド鋼板とで建造されたカーゴタンク構造より優れていることが明らかになった。

なお、継手止端部のドレッシング処理効果を定量的に把握した。

第5章では、横隔壁の応力が、二重底頂板溶接部の疲労強度に及ぼす影響を把握するための基礎検討として、SUS329J3Lソリッド鋼板製の横隔壁（垂直部材）と、SUS316Lクラッド鋼板製の二重底頂板（水平部材）との同軸、および目違いを想定した十字溶接継手部に対して、一軸 および二軸荷重下の静的FEM解析を実施した。十字溶接継手各止端部の応力集中を評価した結果、以下の知見が得られた。

- ① 横隔壁側の脚長が $1.0t$ (t : 板厚) あれば、二重底側止端部において

荷重比（T/L）の増加に伴う応力集中係数の増加傾向は見られず、十分な脚長寸法であると言える。また、横隔壁と二重底との板厚が同厚の場合、二重底側の脚長は横隔壁側の脚長と同程度にすると良いことが明らかになった。

② 垂直部材に目違いがある場合、交差部の中心から離れた位置にある水平部材上の溶接止端部、および中心に近い垂直部材上の溶接止端部の応力集中係数が増大する。特に水平部材上の溶接止端部では二軸側（垂直方向）荷重の増加とともに応力集中係数が大きくなるため、目違いには十分な配慮が必要である。

③ 二重底上の垂直部材の板厚に比べて、二重底下の垂直部材の板厚を厚くした十字溶接継手では、モールド合わせは避けた方が良いことが明らかになった。

など、二軸荷重比、板厚、脚長寸法、目違い量、溶接条件などについての多くの知見が得られた。

第6章では、SUS329J3Lクラッド鋼板同士の突合せ溶接継手と、手直し（0, 1, 2回）溶接した、SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板との完全溶け込みT溶接継手を供試して、各種耐食性についての確認試験を実施した。実績の多いSUS316Lクラッド鋼板溶接継手と比較・検討・評価し、就航後の信頼性が充分確保できることを明らかにした。得られた知見を以下に示す。

① 過剰入熱突合せ溶接（FCAW 44 kJ/cm, FCAW+SAW 50 kJ/cm）継手でも、断面マクロ・ミクロ組織、ビッカース硬さ分布測定結果、継手引張試験結果、およびV-ノッチシャルピー衝撃試験結果全てにおいて、全く問題無いという結果であった。

② 化学成分分析結果では、耐孔食性指標であるPI値が、SAW 50kJ/cm溶接金属では低い値を示した。過剰入熱溶接は要注意である。

③ FCAW継手溶接金属とHAZのフェライト量は、略30～70%であったが、SAW 50kJ/cm継手では、30%以下の測定値が多く、入熱量が大き過ぎて不安定であることが明らかになった。

④ 突合せ溶接継手の孔食発生臨界温度（CPT値）は、SAW 50kJ/cm継手

以外では良好であった。また、耐粒界腐食試験結果、沸騰5%硫酸腐食試験結果、りん酸腐食試験結果では、SUS316Lクラッド鋼板同士の突合せ溶接継手より、優れていることが明らかになった。

⑤ 応力腐食割れ試験結果では、SUS329J3Lソリッド鋼板同士や SUS316Lクラッド鋼板同士の突合せ溶接継手と略同等で、良好であった。

⑥ 手直し溶接した完全溶け込みT溶接継手の、断面マクロ・ミクロ組織観察結果は良好であり、また、溶接金属のフェライト量も、全て30～70%であった。さらに、ビッカース硬さ分布測定結果、継手引張試験結果も何等问题無かった。

⑦ 耐孔食性試験結果では、手直し溶接の回数に依らず、CPT(孔食発生臨界温度)は30～35℃であり、耐孔食性は良好であることが明らかになった。

以上を総括すると、SUS329J3Lクラッド鋼板同士の突合せ溶接継手部の耐食性は、SUS329J3Lソリッド鋼板同士の突合せ溶接継手部と略同等であり、実績が多い、SUS316Lクラッド鋼板同士の突合せ溶接継手部より、優れていることが明らかになった。しかし、過剰入熱の溶接は避けるべきである。

第7章では、前章までに述べて来た、本研究の成果を総括すると共に、SUS329J3Lクラッド鋼板およびソリッド鋼板の溶接における留意点等について述べた。

最後に、第8章では、SUS329J3Lクラッド鋼板 および ソリッド鋼板とを使用すれば、実績の多い SUS316Lクラッド鋼板と SUS316LNソリッド鋼板とを使用した場合と、略同等の現場工作管理で、より強度・信頼性や耐食性の優れた、しかも、合理的な設計による高性能な、ケミカルタンカーカーゴタンク構造建造が可能であることが確認出来たと結論づけている。